

Japanese Patent Laid-open Publication No. HEI H07-064134 A

Publication date : March 10, 1995

Applicant : Nihon Denshin Denwa K. K.

Title : OUTPUT CONTROL CIRCUIT OF OPTICAL AMPLIFIER

5

(57) [Abstract]

[PURPOSE] The present invention relates to an output control circuit of an optical amplifier. It is an object of the invention to control an output level or optical amplification gain so as to stabilize the output level or gain without being affected by amplified spontaneous emission (ASE) noise included in an output light from the optical amplifier and, even when an optical signal is subjected to optical frequency division multiplexing to be input, without being affected by variation of the number of multiplexed input optical signals and optical frequency dependency of the optical amplification gain characteristic.

[CONSTITUTION] An output control circuit of an optical amplifier which performs optical amplification on an input light, said output control circuit for adjusting an output level of the optical amplifier to a predetermined value, comprises an intensity-modulated light inputting unit which modulates the intensity of a light in a predetermined optical frequency band with a modulation signal of a predetermined frequency so as to input the intensity-modulated light to the optical amplifier, a photo detecting unit which receives a part of the output light of the

optical amplifier and outputting a signal proportional to the intensity of the received light, a modulation signal intensity measuring unit which detects a modulating signal of a predetermined frequency from the signal output from the photo detecting unit to  
5 measure the intensity of the modulation signal, and an optical amplification gain control unit which sets an optical amplification gain of the optical amplifier corresponding to the modulation signal intensity.

10 [0037] Fig. 5 illustrates an embodiment configuration of the output control circuit of the optical amplifier as described in claim 3. Further, this embodiment configuration is directed to an output level control circuit for stabilizing an output level of the optical amplifier.

15 [0038] In this figure, an optical signal of each optical frequency  $f_1$  to  $f_n$  is multiplexed to be input to an optical signal input terminal 72. An optical amplifier 70 amplifies the multiplexed signal output from the optical signal input terminal 72, under the action of an exciting light output from an exciting  
20 light source 71, and then outputs the amplified signal to an optical signal output terminal 73.

[0039] The output control circuit of this embodiment for stabilizing an output level of the optical amplifier 70 per optical frequency (output level control circuit), comprises low frequency  
25 oscillators  $12_i$ ,  $12_j$ ,  $12_k$  each for generating a modulation signal

of frequency  $F_i, F_j, F_k$  for an optical signal of optical frequency  $f_i, f_j, f_k$  output from its corresponding optical signal source  $11_i, 11_j, 11_k$ , intensity modulators  $13_i, 13_j, 13_k$  each driven by the modulation signal, an optical frequency division multiplexer 51, an optical branching element 14, a photo detector 15, band pass filters (BPF)  $16_i, 16_j, 16_k$  of which center frequencies are frequencies  $F_i, F_j, F_k$  of modulation signals respectively, envelope detectors  $17_i, 17_j, 17_k$ , a control circuit 52 and an optical gain equalizing circuit 53 set in the output stage of the optical amplifier 70.

[0040] Further, low frequency oscillators  $12_i, 12_j, 12_k$  and the intensity modulators  $13_i, 13_j, 13_k$  correspond to an intensity-modulated light inputting unit. The optical branching element 14 and the photo detector 15 correspond to a photo detecting unit. The band pass filters (BPF)  $16_i, 16_j, 16_k$  and the envelope detectors  $17_i, 17_j, 17_k$  correspond to a modulation signal intensity measuring unit. The optical gain equalizing circuit 53 corresponds to an optical gain equalizing circuit, and the control circuit 52 and the exciting light source 71 correspond to an output level control unit.

[0041] The optical gain equalizing circuit 53 is composed of the optical demultiplexer 54 and a multiplexer 55 for demultiplexing and multiplexing lights of the optical frequencies  $f_i, f_j, f_k$ , and the optical attenuators (OATT)  $56_i, 56_j, 56_k$ . Further, used as the demultiplexer 54 and the multiplexer 55 are an optical filter serving multiplexing and demultiplexing functions such as

a grating filter or array waveguide filter. Furthermore, the optical gain equalizing circuit 53 can be an optical filter which varies wavelength dependency of transmittancy, such as optoacoustic filter, multi-stage cascaded Mach-Zehnder filter.

5 [0042] The intensity modulators  $13_i$ ,  $13_j$ ,  $13_k$  each modulates the intensity of a signal lights output from the optical signal sources  $11_i$ ,  $11_j$ ,  $11_k$  with a modulation signal output from its corresponding low frequency oscillators  $12_i$ ,  $12_j$ ,  $12_k$ . The intensity-modulated light is multiplexed with the other lights at  
10 an optical frequency division multiplexer 51 to be input to the optical amplifier 70.

[0043] An output light from the optical amplifier 70 is input to the optical gain equalizing circuit 53 so as to adjust the optical intensity of each optical frequency  $f_i$ ,  $f_j$ ,  $f_k$ . A part of the output  
15 light from the optical gain equalizing circuit 53 is branched off at the optical branching element 14 and received at the photo detector 15. The photo detector 15 outputs a signal in proportion to the intensity of the received light, and then the output signal is input to each envelope detector  $17_i$ ,  $17_j$ ,  $17_k$  via its corresponding band  
20 pass filter  $16_i$ ,  $16_j$ ,  $16_k$  the envelope detector  $17_i$ ,  $17_j$ ,  $17_k$  each outputs a modulation signal voltage of its corresponding frequency  $F_i$ ,  $F_j$ ,  $F_k$  in proportion to the output light intensity of the optical amplifier 70. From the modulation signal voltage of each frequency  $F_i$ ,  $F_j$ ,  $F_k$  control circuit 52 detects the optical intensity of optical  
25 frequency  $f_i$ ,  $f_j$ ,  $f_k$  which is proportional to the modulation signal

voltage, and calculates each control signal  $I_i$ ,  $I_j$ ,  $I_k$  to control an attenuation factor of each optical attenuator  $56_i$ ,  $56_j$ ,  $56_k$  in the optical gain equalizing circuit 53, thereby maintaining the optical intensity constant.

5 [0044] In addition, the control circuit 52 detects the fluctuation amount of an output level of the optical gain equalizing circuit 53 from the modulation signal voltage of each frequency  $F_i$ ,  $F_j$ ,  $F_k$  and then performs feedback of the detected result to the exciting light source 71 of the optical amplifier 70 to control  
10 a bias current value, thereby stabilizing the output level of the optical gain equalizing circuit 53.

[0045] Such a configuration makes it possible to control output levels of respective optical frequency bands individually without being affected by ASE noise distributed widely in the optical  
15 frequency bands of the optical amplifier 70. When input signals are subjected to optical frequency division multiplexing, it is also possible to stabilize output levels of respective optical frequency bands individually, even in variation of the number of multiplexed input optical signals or even with optical frequency  
20 dependency of optical amplification gain characteristic.

[Fig. 5] A block diagram illustrating an embodiment configuration of the output control circuit of the optical amplifier as described in claim 3.

[FIG. 5]

Embodiment configuration of the output control circuit of optical amplifier as described in claim 3 (output level control circuit)

- 11      optical signal source
- 5    13      intensity modulator
- 51      optical frequency division multiplexer
- 52      control circuit
- 53      optical gain equalizing circuit
- 54      demultiplexer
- 10   55      multiplexer
- 71      exciting light source

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-64134

(43) 公開日 平成7年(1995)3月10日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 1	9316-2K		
H 0 4 B 10/14				
10/06				
10/04				
		9372-5K	H 0 4 B 9/ 00	S
			審査請求 未請求	請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平5-207989

(22) 出願日 平成5年(1993)8月23日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 織田 一弘

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 鳥羽 弘

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

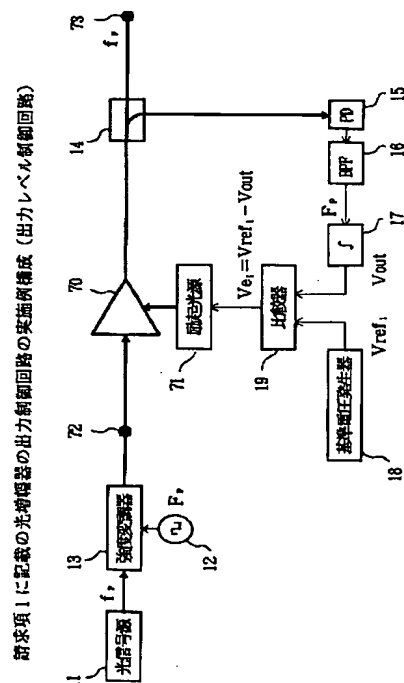
(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

(54) 【発明の名称】 光増幅器の出力制御回路

(57) 【要約】

【目的】 光増幅器の出力制御回路に関し、光増幅器の出力光に含まれる自然放出光雑音の影響を受けず、また光周波数多重化された光信号が入力される場合でも、入力光信号の多重数の変動および光増幅利得特性の光周波数依存性の影響を受けずに、出力レベルあるいは光増幅利得を安定制御することを目的とする。

【構成】 入力光を光増幅する光増幅器の出力レベルを所定値に制御する光増幅器の出力制御回路において、所定の光周波数帯の光を所定の周波数の変調信号で強度変調し、その強度変調光を光増幅器に入力させる強度変調光入力手段と、光増幅器の出力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する受光手段と、受光手段の出力信号から所定の周波数の変調信号を検出し、その信号強度を測定する変調信号強度測定手段と、変調信号強度に応じて、光増幅器の光増幅利得を設定する光増幅利得制御手段とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力光を光増幅する光増幅器の出力レベルを所定値に制御する光増幅器の出力制御回路において、

所定の光周波数帯の光を所定の周波数の変調信号で強度変調し、その強度変調光を前記光増幅器に入力させる強度変調光入力手段と、

前記光増幅器の出力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する受光手段と、

前記受光手段の出力信号から前記所定の周波数の変調信号を検出し、その信号強度を測定する変調信号強度測定手段と、

前記変調信号強度に応じて、前記光増幅器の光増幅利得を設定する出力レベル制御手段とを備えたことを特徴とする光増幅器の出力制御回路。

【請求項 2】 入力光を光増幅する光増幅器の光増幅利得を所定値に制御する光増幅器の出力制御回路において、

所定の光周波数帯の光を所定の周波数の変調信号で強度変調し、その強度変調光を前記光増幅器に入力させる強度変調光入力手段と、

前記光増幅器の入力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する入力段受光手段と、

前記入力段受光手段の出力信号から前記所定の周波数の変調信号を検出し、その信号強度を測定する入力段変調信号強度測定手段と、

前記光増幅器の出力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する出力段受光手段と、

前記出力段受光手段の出力信号から前記所定の周波数の変調信号を検出し、その信号強度を測定する出力段変調信号強度測定手段と、

前記各変調信号強度から、前記所定の光周波数帯における光増幅利得を算出する光増幅利得算出手段と、

前記所定の光周波数帯における光増幅利得に応じて、前記光増幅器の光増幅利得を設定する光増幅利得制御手段とを備えたことを特徴とする光増幅器の出力制御回路。

【請求項 3】 光周波数多重された入力光を光増幅する光増幅器の出力レベルを所定値に制御する光増幅器の出力制御回路において、

複数の光周波数帯の光をそれぞれ対応する所定の周波数の変調信号で強度変調し、各強度変調光を多重化して前記光増幅器に入力させる強度変調光入力手段と、

前記光増幅器の出力光を入力し、前記各光周波数帯ごとに出力レベルを調整する光利得等化回路と、

前記光利得等化回路の出力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する受光手段と、

前記受光手段の出力信号から前記各周波数の変調信号を検出し、それぞれの信号強度を測定する変調信号強度測定手段と、

前記各変調信号強度に応じて、前記光増幅器の光増幅利

得および前記光利得等化回路における各光周波数帯の出力レベルを設定する出力レベル制御手段とを備えたことを特徴とする光増幅器の出力制御回路。

【請求項 4】 光周波数多重された入力光を光増幅する光増幅器の光増幅利得を所定値に制御する光増幅器の出力制御回路において、

複数の光周波数帯の光をそれぞれ対応する所定の周波数の変調信号で強度変調し、各強度変調光を多重化して前記光増幅器に入力させる強度変調光入力手段と、

10 前記光増幅器の入力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する入力段受光手段と、

前記入力段受光手段の出力信号から前記各周波数の変調信号を検出し、それぞれの信号強度を測定する入力段変調信号強度測定手段と、

前記光増幅器の出力光を入力し、前記各光周波数帯ごとに出力レベルを調整する光利得等化回路と、

前記光利得等化回路の出力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する出力段受光手段と、

20 前記出力段受光手段の出力信号から前記各周波数の変調信号を検出し、それぞれの信号強度を測定する出力段変調信号強度検出手段と、

前記各変調信号強度から、前記各光周波数帯における光増幅利得を算出する光増幅利得算出手段と、

前記各光周波数帯における光増幅利得に応じて、前記光増幅器の光増幅利得および前記光利得等化回路における各光周波数帯の出力レベルを設定する光増幅利得制御手段とを備えたことを特徴とする光増幅器の出力制御回路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光信号を増幅する光増幅器の出力制御回路に関する。なお、光増幅器の出力制御には、出力レベルを安定化する出力レベル制御と、光増幅利得を一定にする利得制御とを含む。

## 【0002】

【従来の技術】図 7 は、従来の光増幅器の出力レベル制御回路の構成例を示す。図において、光増幅器 70 は、励起光源 71 から出力される励起光の作用により、光信号入力端子 72 に入力された光信号を増幅して光信号出力端子 73 に送出する。この光増幅器 70 の出力レベルを安定化する出力レベル制御回路は、以下のように構成される。

【0003】光増幅器 70 の出力光の一部は、光分岐素子 74 で分岐して受光素子 (PD) 75 に受光される。受光素子 75 は受光強度に比例する信号を出力し、増幅器 76 を介して比較器 77 に与える。比較器 77 は、その信号電圧  $V_i$  と基準電圧発生器 78 から与えられる基準電圧  $V_0$  とを比較し、その差分を示す誤差電圧  $V_e$

( $=V_0 - V_i$ ) を出力する。この誤差電圧  $V_e$  は、光増幅器 70 の出力光強度が所定値よりも大きいときには負



となり、小さいときには正となり、両者が等しいときには 0 となる。比較器 77 で得られた誤差電圧  $V_e$  は、低域通過フィルタ (LPF) 79 で不要な高周波成分が除去されて光増幅器 70 の励起光源 71 に帰還する。励起光源 71 は、バイアス電流値に応じて励起光強度が増減するので、バイアス電流値を誤差電圧  $V_e$  に応じて調整することにより、光増幅器 70 の出力レベルを安定化させることができる。

【0004】図 8 は、励起光源 71 から出力される励起光強度と光増幅器 70 の出力光強度の関係を示す。励起光強度の増大に応じて、光増幅器 70 の出力光強度（あるいは光増幅利得）が増大することがわかる。すなわち、励起光源 71 を制御して励起光強度を増減すれば、光増幅器 70 の出力光強度（あるいは光増幅利得）を調整できることがわかる。

【0005】このように、光増幅器の出力レベル制御回路は、光増幅器 70 の出力光の一部を分岐し、受光素子 75 によりその光強度に比例した信号を検出し、所定のレベルとの差分を光増幅器 70 の励起光源 71 に帰還することにより、光増幅器 70 の出力レベルを基準電圧  $V_0$  に応じたレベルに安定化する構成になっている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来の出力レベル制御回路は、光増幅器の総出力光強度を一定に保持するように機能している。一方、光増幅器の出力光の中には、入力光信号が増幅されたものと、自然放出光による雑音成分が混在している。したがって、雑音込みで光増幅器の出力レベルが制御される構成になっていた。これは、増幅された光信号成分が自然放出光成分に比べて十分に大きいときには問題にならないが、そうでないときには雑音電力分だけずれた出力レベルに安定化されることになる。

【0007】また、従来の光増幅器の出力レベル制御回路では、光周波数多重化された光信号を増幅する場合には次の問題点が生ずる。

① 入力光信号の多重数が増動すると光増幅器の飽和レベルが増動するので、見かけ上の総出力光強度を一定に制御すると、各チャネルの出力光強度がそれにつれて変動することになる。

【0008】② 実際の光増幅器の利得特性は、入力光信号の光周波数に依存して変化するので、見かけ上の総出力光強度を一定に制御しても、各チャネルの出力レベルあるいは光増幅利得が一定になるとは限らない。

【0009】本発明は、光増幅器の出力光に含まれる自然放出光雑音の影響を受けない光増幅器の出力制御回路、また光周波数多重化された光信号が入力される場合でも、入力光信号の多重数の変動および光増幅利得特性の光周波数依存性の影響を受けない光増幅器の出力制御回路を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】請求項 1 に記載の発明は、入力光を増幅する光増幅器の出力レベルを所定値に制御する光増幅器の出力制御回路において、所定の光周波数帯の光を所定の周波数の変調信号で強度変調し、その強度変調光を増幅器に入力させる強度変調光入力手段と、光増幅器の出力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する受光手段と、受光手段の出力信号から所定の周波数の変調信号を検出し、その信号強度を測定する変調信号強度測定手段と、変調信号強度に応じて、光増幅器の光増幅利得を設定する出力レベル制御手段とを備える。

【0011】請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明の構成に加えて、光増幅器の入力光の一部を受光し、受光強度に比例する信号を出力する入力段受光手段と、入力段受光手段の出力信号から所定の周波数の変調信号を検出し、その信号強度を測定する入力段変調信号強度測定手段と、入出力段で測定される各変調信号強度から、所定の光周波数帯における光増幅利得を算出する光増幅利得算出手段と、所定の光周波数帯における光増幅利得に応じて、光増幅器の光増幅利得を設定する光増幅利得制御手段とを備える。

【0012】請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、複数の光周波数帯の強度変調光を用い、各変調信号強度に応じて光増幅器の出力レベルを制御することを特徴とする。

【0013】請求項 4 に記載の発明は、請求項 2 に記載の発明において、複数の光周波数帯の強度変調光を用い、入出力段で測定される各変調信号強度に応じて光増幅器の光増幅利得を制御することを特徴とする。

【0014】

【作用】請求項 1 に記載の光増幅器の出力制御回路では、制御対象となる光周波数帯の光を所定の周波数の変調信号で強度変調し、その強度変調光を増幅器に入力する。さらに、光増幅器の出力光の一部を受光し、所定の周波数の変調信号を検出してその信号強度を測定する。この変調信号強度に応じて光増幅器の光増幅利得を設定することにより、希望する光周波数帯の入力光について、光増幅器の出力レベルを安定化することができる。

【0015】請求項 2 に記載の光増幅器の出力制御回路では、同様に光増幅器の入力光から変調信号強度を検出し、出力光から得られる変調信号強度との対比から所定の光周波数帯における光増幅利得を算出する。この光増幅利得に応じて光増幅器の光増幅利得を設定することにより、希望する光周波数帯の入力光について、光増幅器の光増幅利得を一定に保持することができる。

【0016】このような強度変調光をモニタして変調信号強度を測定する構成では、光増幅器の光周波数帯域上に広く分布する自然放出光雑音の影響をほとんど受けずにすむ。すなわち、光増幅器の出力に含まれる自然放出

光雑音の影響を受けない光増幅器の出力制御回路を実現することができる。

【0017】請求項3および請求項4に記載の光増幅器の出力制御回路は、光周波数多重された入力光を光増幅する光増幅器に適用される。すなわち、複数の光周波数帯の光をそれぞれ所定の周波数の変調信号で強度変調し、各強度変調光を多重化して光増幅器に入力する。以下同様に、各光周波数帯（チャネル）の強度変調光をモニタし、それぞれの変調信号強度に応じて各チャネルごとに光利得等化処理を行う。これにより、各チャネルの光信号について光増幅器の出力レベルあるいは光増幅利得を安定化することができる。

【0018】したがって、その多重数が変動する場合、あるいは光増幅器の光増幅利得特性が光周波数依存性を有する場合でも、各チャネルの光信号について光増幅器の出力レベルあるいは光増幅利得を安定化することができる。すなわち、入力光信号の多重数の変動および光増幅利得特性の光周波数依存性の影響を受けない光増幅器の出力制御回路を実現することができる。

【0019】

【実施例】図1は、請求項1に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成を示す。なお、本実施例は、光増幅器の出力レベルを安定化する出力レベル制御回路としての構成を示す。

【0020】図において、光増幅器70は、励起光源71から出力される励起光の作用により、光信号入力端子72から入力された光信号を増幅して光信号出力端子73に送出する。

【0021】この光増幅器70の出力レベルを安定化する本実施例の出力制御回路（出力レベル制御回路）は、光信号源11から出力される光周波数 $f_p$ の光信号を強度変調する周波数 $F_p$ の変調信号を発生する低周波発振器12、この変調信号で駆動される強度変調器13、光分岐素子14、受光素子（PD）15、変調信号の周波数 $F_p$ を中心周波数とする帯域通過フィルタ（BPF）16、包絡線検波器17、基準電圧 $V_{ref1}$ を発生する基準電圧発生器18、比較器19により構成される。

【0022】なお、低周波発振器12および強度変調器13は、強度変調光入力手段に対応する。光分岐素子14および受光素子15は、受光手段に対応する。帯域通過フィルタ16および包絡線検波器17は、変調信号強度測定手段に対応する。基準電圧発生器18、比較器19および励起光源71は、出力レベル制御手段に対応する。

【0023】強度変調器13は、光信号源11から出力された光信号を低周波発振器12から出力された変調信号で強度変調し、その強度変調光は光増幅器70に入力される。光増幅器70の出力光の一部は、光分岐素子14で分岐して受光素子15に受光される。受光素子15は受光強度に比例する信号を出力し、その出力信号は帯

域通過フィルタ16を介して包絡線検波器17に入力される。包絡線検波器17は、光増幅器70の出力光強度に比例した変調信号電圧 $V_{out}$ を検出して比較器19に与える。比較器19は、変調信号電圧 $V_{out}$ と基準電圧発生器18から与えられる基準電圧 $V_{ref1}$ とを比較し、その差分を示す誤差電圧 $V_{ei}$ （ $=V_{ref1}-V_{out}$ ）を出力する。この誤差電圧 $V_{ei}$ は、光増幅器70の出力光強度が所定値よりも大きいときには負となり、小さいときには正となり、両者が等しいときには0となる。比較器19で得られた誤差電圧 $V_{ei}$ は光増幅器70の励起光源71に帰還され、そのバイアス電流値を誤差電圧 $V_{ei}$ に応じて増減することにより、光増幅器70の出力レベルを安定化させる。

【0024】このように本実施例は、光増幅器70の出力光の一部を受光素子15で受光し、帯域通過フィルタ16で濾波される周波数 $F_p$ の変調信号をモニタする構成になっている。したがって、光増幅器70の光周波数帯域上に広く分布する自然放光雑音の影響をほとんど受けずに、光信号源11の光周波数 $f_p$ に対応する光周波数帯域について、光増幅器70の出力レベルを選択的に制御することができる。

【0025】なお、本実施例は、伝送信号で変調された光信号を所定の周波数の変調信号で強度変調する構成をとっているが、伝送信号と変調信号を重畳して変調する構成としても、同様に光増幅器70の出力レベルを選択的に制御することができる。また、以下に示す実施例においても同様である。

【0026】図2は、請求項2に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成を示す。なお、本実施例は、光増幅器の光増幅利得を一定にする利得制御回路としての構成を示す。

【0027】図において、光増幅器70は、励起光源71から出力される励起光の作用により、光信号入力端子72から入力された光信号を増幅して光信号出力端子73に送出する。

【0028】この光増幅器70の光増幅利得を一定にする本実施例の出力制御回路（利得制御回路）は、図1に示す出力制御回路（出力レベル制御回路）の構成に加えて、光増幅器70の入力段に設けられる同様の光分岐素子21、受光素子22、帯域通過フィルタ（BPF）23、包絡線検波器24、除算器25を含む。

【0029】なお、低周波発振器12および強度変調器13は、強度変調光入力手段に対応する。光分岐素子21および受光素子22は、入力段受光素子に対応する。帯域通過フィルタ23および包絡線検波器24は、入力段変調信号強度測定手段に対応する。光分岐素子14および受光素子15は、出力段受光手段に対応する。帯域通過フィルタ16および包絡線検波器17は、出力段変調信号強度測定手段に対応する。除算器25は、光増幅利得算出手段に相当する。基準電圧発生器18、比較器

19 および励起光源 71 は、光増幅利得制御手段に対応する。

【0030】強度変調器 13 は、光信号源 11 から出力された光信号を低周波発振器 12 から出力された変調信号で強度変調し、その強度変調光は光増幅器 70 に入力される。光増幅器 70 の入力光の一部は、光分岐素子 21 で分岐して受光素子 22 に受光される。受光素子 22 は受光強度に比例する信号を出力し、その信号は帯域通過フィルタ 23 を介して包絡線検波器 24 に入力される。包絡線検波器 24 は、光増幅器 70 の入力光強度に

10 比例した変調信号電圧  $V_{in}$  を出力する。

【0031】一方、光増幅器 70 の出力光の一部は、光分岐素子 14 で分岐して受光素子 15 に受光される。受光素子 15 は受光強度に比例する信号を出力し、その信号は帯域通過フィルタ 16 を介して包絡線検波器 17 に入力される。包絡線検波器 17 は、光増幅器 70 の出力光強度に比例した変調信号電圧  $V_{out}$  を出力する。除算器 25 は、光増幅器 70 の出力光強度に比例した変調信号電圧  $V_{out}$  を入力光強度に比例した変調信号電圧  $V_{in}$  で割ることにより、光増幅器 70 の光増幅利得に対応する利得電圧  $V_g (= V_{out} / V_{in})$  を得る。比較器 19 は、利得電圧  $V_g$  と基準電圧発生器 18 から与えられる基準電圧  $V_{ref2}$  とを比較し、その差分を示す誤差電圧  $V_{e2} (= V_{ref2} - V_g)$  を出力する。この誤差電圧  $V_{e2}$  は、光増幅器 70 の光増幅利得が所定値よりも大きいときには負となり、小さいときには正となり、両者が等しいときには 0 となる。比較器 19 で得られた誤差電圧  $V_{e2}$  は光増幅器 70 の励起光源 71 に帰還され、そのバイアス電流値を誤差電圧  $V_{e2}$  に応じて増減することにより、光増幅器 70 の光増幅利得を一定に保持することができる。

【0032】このように本実施例は、光増幅器 70 の入力光および出力光を受光素子 22, 15 で検波し、それぞれ帯域通過フィルタ 23, 16 で濾波される周波数  $F_P$  の変調信号をモニタする構成になっている。したがって、光増幅器 70 の光周波数帯域上に広く分布する自然放光雑音の影響をほとんど受けずに、光信号源 11 の光周波数  $f_P$  に対応する光周波数帯域について、光増幅器 70 の光増幅利得を選択的に制御することができる。

【0033】ここで、光増幅器 70 における強度変調光の増幅例を図 3 に示す。横軸は光周波数であり、縦軸は光強度である。光増幅器 70 の入力光スペクトルおよび出力光スペクトルのピークは光周波数  $f_P$  でそれぞれ  $P_{in}$ ,  $P_{out}$  となる。一方、強度変調光は、周波数  $F_P$  の変調信号で光強度変調されており、その光電力の変動の振幅は、光増幅器 70 の前後において  $A_{in}$ ,  $A_{out}$  となる。したがって、光増幅器 70 の光増幅利得  $G$  は、 $G = P_{out} / P_{in} = A_{out} / A_{in}$  …(1)

となる。このような関係から、周波数  $F_P$  の変調信号強度を測定することにより光増幅器 70 の出力レベルや光

増幅利得を制御可能であることがわかる。なお、光増幅器 70 の出力光には増幅された自然放光雑音 (ASE) も混入するが、光周波数  $f_P$  の近傍の帯域内に存在する ASE 電力は比較的小さく、その影響はほとんどない。

【0034】また、受光素子 22, 15 の出力信号の周波数-信号強度特性を図 4 に示す。横軸はベースバンド周波数、縦軸は受光素子 22, 15 の出力信号強度である。受光素子 22, 15 は受光強度に比例した信号を出力し、その出力信号はベースバンド上に表れる。強度変調光は、周波数  $F_P$  の変調信号で光強度変調がかけられているので、受光素子出力には直流成分と周波数  $F_P$  の成分が表れる。ここで、光増幅器 70 の入力段における受光素子 22 の出力信号強度は  $E_{in}$  となり、出力段における受光素子 15 の出力信号強度は  $E_{out}$  となり、光増幅器 70 の光増幅利得  $G$  は、

$$G = E_{out} / E_{in} \quad \dots(2)$$

と表すことができる。したがって、光増幅器 70 の入力光および出力光を各受光素子 22, 15 で 2 乗検波し、中心周波数  $F_P$  の帯域通過フィルタ 23, 16 を用いて周波数  $F_P$  の変調信号強度を測定することにより、光増幅器 70 の出力レベルや光増幅利得を制御することができる。なお、光増幅器 70 の出力光には増幅された自然放光雑音 (ASE) も混入するが、光周波数  $f_P$  の近傍の帯域内に存在する ASE 電力は比較的小さく、その影響はほとんどない。

【0035】なお、以上の説明では、ベースバンド帯における変調信号成分の検出例を示したが、ヘテロダイン検波その他を用いて中間周波数帯上で目的とする変調信号成分を検出することも可能である。

【0036】次に、入力光信号が光周波数多重化されている場合に、入力光信号の多重数の変動および光増幅利得特性の光周波数依存性の影響を受けない光増幅器の出力制御回路の実施例について説明する。

【0037】図 5 は、請求項 3 に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成を示す。なお、本実施例は、光増幅器の出力レベルを安定化する出力レベル制御回路としての構成を示す。

【0038】図において、光信号入力端子 72 には光周波数  $f_1 \sim f_n$  の光信号が多重化されて入力される。光増幅器 70 は、励起光源 71 から出力される励起光の作用により、光信号入力端子 72 から入力された光周波数多重信号を増幅して光信号出力端子 73 に送出する。

【0039】この光増幅器 70 の出力レベルを各光周波数ごとに安定化する本実施例の出力制御回路 (出力レベル制御回路) は、所定の光信号源  $11_i, 11_j, 11_k$  から出力される光周波数  $f_i, f_j, f_k$  の光信号に対して、強度変調する周波数  $F_i, F_j, F_k$  の変調信号を発生する低周波発振器  $12_i, 12_j, 12_k$ 、各変調信号で駆動される強度変調器  $13_i, 13_j, 13$

$k$ 、光多重回路51、光分岐素子14、受光素子15、変調信号の周波数 $F_i$ 、 $F_j$ 、 $F_k$ を中心周波数とする帯域通過フィルタ(BPF)16 $i$ 、16 $j$ 、16 $k$ 、包絡線検波器17 $i$ 、17 $j$ 、17 $k$ 、制御回路52、光増幅器70の出力段に挿入される光利得等化回路53により構成される。

【0040】なお、低周波発振器12 $i$ 、12 $j$ 、12 $k$ および強度変調器13 $i$ 、13 $j$ 、13 $k$ は、強度変調光入力手段に対応する。光分岐素子14および受光素子15は、受光手段に対応する。帯域通過フィルタ16 $i$ 、16 $j$ 、16 $k$ および包絡線検波器17 $i$ 、17 $j$ 、17 $k$ は、変調信号強度測定手段に対応する。光利得等化回路53はそのまま対応し、制御回路52および励起光源71は、出力レベル制御手段に対応する。

【0041】光利得等化回路53は、光周波数 $f_i$ 、 $f_j$ 、 $f_k$ の光を合分波する分波器54および合波器55、光減衰器(OATT)56 $i$ 、56 $j$ 、56 $k$ により構成される。なお、分波器54および合波器55には、グレーティングフィルタまたはアレイ導波路型フィルタその他の光合分波機能を有する光フィルタが用いられる。また、光利得等化回路53として、透過率の波長依存性を可変させる光フィルタ、例えば音響光学フィルタ、多段縦属接続マハツェンダ型フィルタその他を使用することもできる。

【0042】各強度変調器13 $i$ 、13 $j$ 、13 $k$ は、光信号源11 $i$ 、11 $j$ 、11 $k$ から出力された信号光を低周波発振器12 $i$ 、12 $j$ 、12 $k$ から出力された変調信号で強度変調し、その強度変調光は他の光信号とともに光多重回路51で光周波数多重されて光増幅器70に入力される。

【0043】光増幅器70の出力光は、光利得等化回路53に入力され、各光周波数 $f_i$ 、 $f_j$ 、 $f_k$ の光強度がそれぞれ調整される。光利得等化回路53の出力光の一部は、光分岐素子14で分岐して受光素子15に受光される。受光素子15は受光強度に比例する信号を出力し、その信号は各帯域通過フィルタ16 $i$ 、16 $j$ 、16 $k$ を介してそれぞれ包絡線検波器17 $i$ 、17 $j$ 、17 $k$ に入力される。各包絡線検波器17 $i$ 、17 $j$ 、17 $k$ は、光増幅器70の出力光強度に比例した周波数 $F_i$ 、 $F_j$ 、 $F_k$ の変調信号電圧を出力する。制御回路52は、各周波数 $F_i$ 、 $F_j$ 、 $F_k$ の変調信号電圧から、それぞれに比例した光周波数 $f_i$ 、 $f_j$ 、 $f_k$ の光強度を検出し、それらを一定するために光利得等化回路53の各光減衰器56 $i$ 、56 $j$ 、56 $k$ の減衰率を制御する制御信号 $I_i$ 、 $I_j$ 、 $I_k$ を算出する。

【0044】また、制御回路52は、各周波数 $F_i$ 、 $F_j$ 、 $F_k$ の変調信号電圧から光利得等化回路53の出力レベルの変動量を検出し、それを光増幅器70の励起光源71に帰還してバイアス電流値を制御することにより、光利得等化回路53の出力レベルを安定化させる。

【0045】このような構成により、光増幅器70の光周波数帯域上に広く分布する自然放光雑音の影響をほとんど受けずに、各光周波数帯域の出力レベルを個別に制御することができる。また、入力光信号が光周波数多重化されている場合に、入力光信号の多重数が変動しても、また光増幅利得特性の光周波数依存性があっても各光周波数帯域の出力レベルをそれぞれ個別に安定化することができる。

【0046】図6は、請求項4に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成を示す。なお、本実施例は、光増幅器の光増幅利得を一定にする利得制御回路としての構成を示す。

【0047】図において、光信号入力端子72には光周波数 $f_i \sim f_n$ の光信号が多重化されて入力される。光増幅器70は、励起光源71から出力される励起光的作用により、光信号入力端子72から入力された光周波数多重信号を増幅して光信号出力端子73に送出する。

【0048】この光増幅器70の光増幅利得を各光周波数ごとに一定にする本実施例の出力制御回路(利得制御回路)は、図5に示す出力制御回路(出力レベル制御回路)の構成に加えて、光増幅器70の入力段に設けられる同様の光分岐素子21、受光素子22、帯域通過フィルタ(BPF)23 $i$ 、23 $j$ 、23 $k$ 、包絡線検波器24 $i$ 、24 $j$ 、24 $k$ を含む。

【0049】なお、低周波発振器12 $i$ 、12 $j$ 、12 $k$ および強度変調器13 $i$ 、13 $j$ 、13 $k$ は、強度変調光入力手段に対応する。光分岐素子21および受光素子22は、入力段受光手段に対応する。帯域通過フィルタ23 $i$ 、23 $j$ 、23 $k$ および包絡線検波器24 $i$ 、24 $j$ 、24 $k$ は、入力段変調信号強度測定手段に対応する。光分岐素子14および受光素子15は、出力段受光手段に対応する。帯域通過フィルタ16 $i$ 、16 $j$ 、16 $k$ および包絡線検波器17 $i$ 、17 $j$ 、17 $k$ は、出力段変調信号強度測定手段に対応する。光利得等化回路53はそのまま対応し、制御回路52および励起光源71は、光増幅利得制御手段に対応する。

【0050】各強度変調器13 $i$ 、13 $j$ 、13 $k$ は、光信号源11 $i$ 、11 $j$ 、11 $k$ から出力された信号光を低周波発振器12 $i$ 、12 $j$ 、12 $k$ から出力された変調信号で強度変調し、その強度変調光は他の光信号とともに光多重回路51で光周波数多重されて光増幅器70に入力される。

【0051】光増幅器70の入力光の一部は、光分岐素子21で分岐して受光素子22に受光される。受光素子22は受光強度に比例する信号を出力し、その信号は帯域通過フィルタ23 $i$ 、23 $j$ 、23 $k$ を介して、それぞれ包絡線検波器24 $i$ 、24 $j$ 、24 $k$ に入力される。各包絡線検波器24 $i$ 、24 $j$ 、24 $k$ は、光増幅器70の入力光強度に比例した周波数 $F_i$ 、 $F_j$ 、 $F_k$ の変調信号電圧を出力する。

【0052】光増幅器 70 の出力光は、光利得等化回路 53 で各光周波数  $f_i$ ,  $f_j$ ,  $f_k$  の光強度が調整される。光利得等化回路 53 の出力光の一部は、光分岐素子 14 で分岐して受光素子 15 に受光される。受光素子 15 は受光強度に比例する信号を出力し、その信号は各帯域通過フィルタ 16i, 16j, 16k を介してそれぞれ包絡線検波器 17i, 17j, 17k に入力される。各包絡線検波器 17i, 17j, 17k は、光増幅器 70 の出力光強度に比例した周波数  $F_i$ ,  $F_j$ ,  $F_k$  の変調信号電圧を出力する。

【0053】制御回路 52 は、光増幅器 70 の入力光強度および光利得等化回路 53 の出力光強度に比例した各周波数  $F_i$ ,  $F_j$ ,  $F_k$  の変調信号電圧を比較し、光周波数  $f_i$ ,  $f_j$ ,  $f_k$  の各光信号に対する光増幅利得を算出する。ここで、各光増幅利得が規定値からずれている場合には、光利得等化回路 53 を制御して利得の不均一を調整する。また、利得の過不足が生じた場合には、光増幅器 70 の励起光源 71 のバイアス電流値を制御し、光増幅器 70 の光増幅利得を制御して調整する。

【0054】このような構成により、光増幅器 70 の光周波数帯域上に広く分布する自然放光雑音の影響をほとんど受けずに、各光周波数帯域の光増幅利得を個別に制御することができる。また、入力光信号が光周波数多重化されている場合に、入力光信号の多重数が変動しても、また光増幅利得特性の光周波数依存性があっても各光周波数帯域の光増幅利得をそれぞれ個別に安定化することができる。

#### 【0055】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光増幅器の出力制御回路は、光増幅器の出力光に含まれる自然放光雑音の影響を受けずに、出力レベルあるいは光増幅利得を安定化制御することができる。

【0056】また、光周波数多重化された光信号が入力される場合でも、入力光信号の多重数の変動および光増幅利得特性の光周波数依存性の影響を受けずに、出力レベルあるいは光増幅利得を安定化制御することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】請求項 1 に記載の光増幅器の出力制御回路の実

施例構成を示すブロック図。

【図 2】請求項 2 に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成を示すブロック図。

【図 3】光増幅器 70 における強度変調光の増幅を説明する図。

【図 4】受光素子 22, 15 の出力信号の周波数-信号強度特性を示す図。

【図 5】請求項 3 に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成を示すブロック図。

10 【図 6】請求項 4 に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成を示すブロック図。

【図 7】従来の光増幅器の出力レベル制御回路の構成例を示すブロック図。

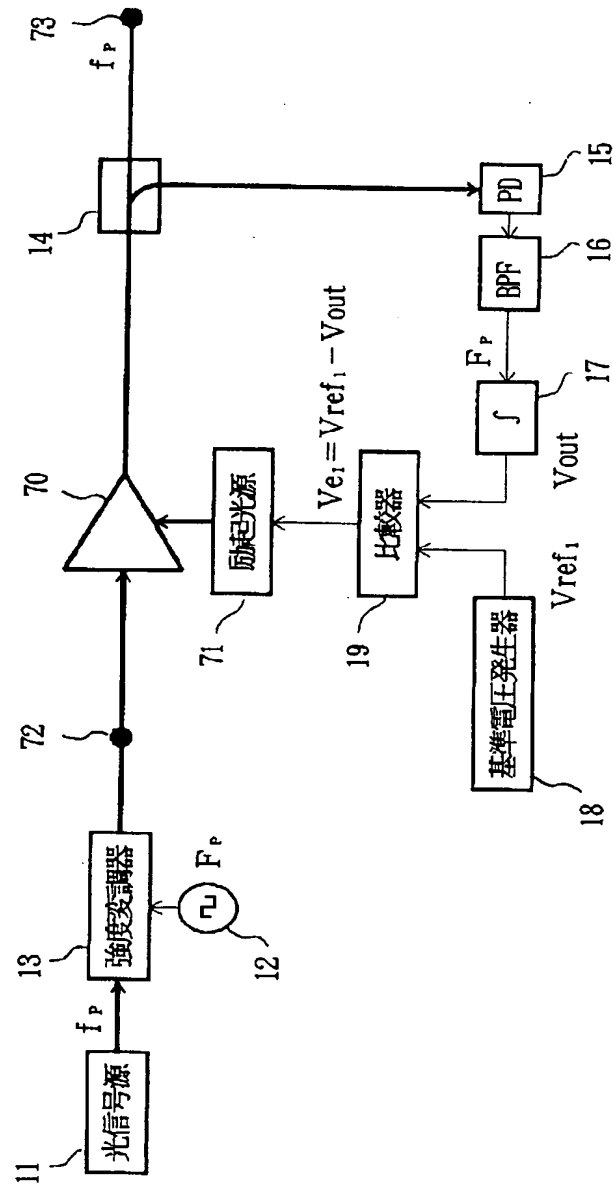
【図 8】励起光源 71 から出力される励起光強度と光増幅器 70 の出力光強度の関係を示す図。

#### 【符号の説明】

- 11 光信号源
- 12 低周波発振器
- 13 強度変調器
- 14, 21, 74 光分岐素子
- 15, 22, 75 受光素子 (PD)
- 16, 23 帯域通過フィルタ (BPF)
- 17, 24 包絡線検波器
- 18, 78 基準電圧発生器
- 19, 77 比較器
- 25 除算器
- 51 光多重回路
- 52 制御回路
- 53 光利得等化回路
- 54 分波器
- 55 合波器
- 56 光減衰器 (OATT)
- 70 光増幅器
- 71 励起光源
- 72 光信号入力端子
- 73 光信号出力端子
- 76 増幅器
- 79 低域通過フィルタ (LPF)

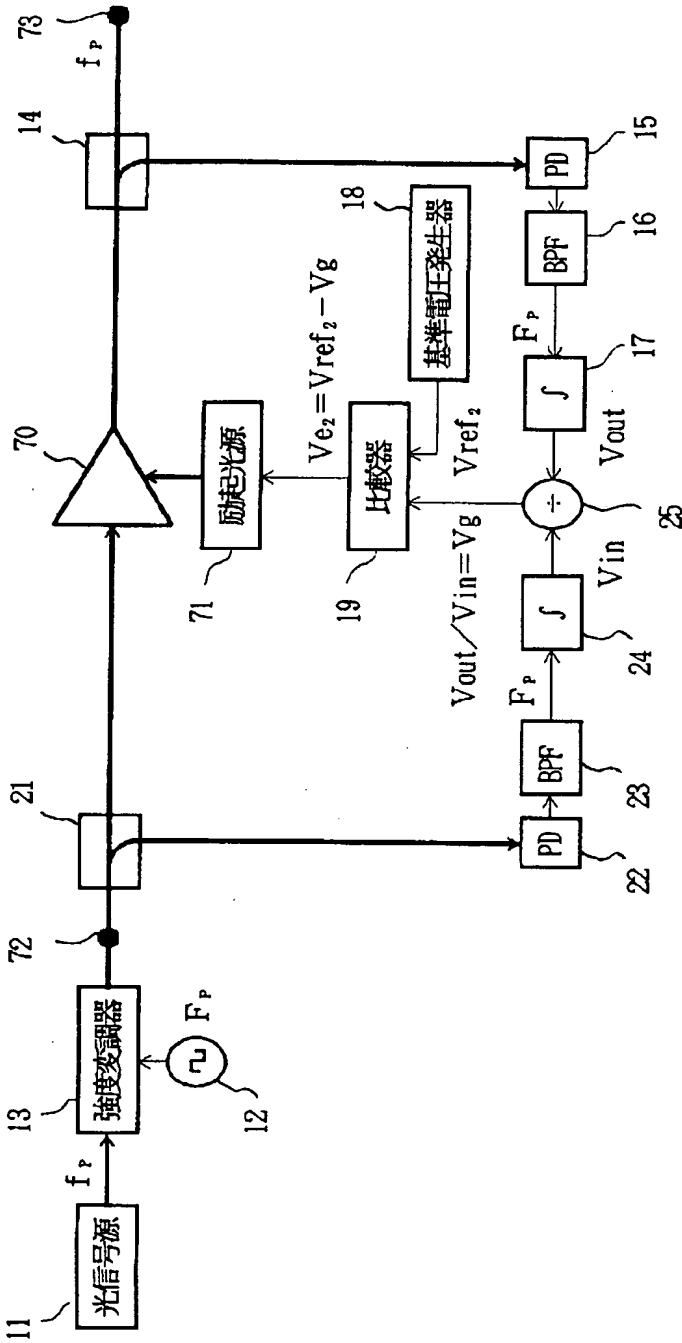
【図 1】

請求項 1 に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成（出力レベル制御回路）



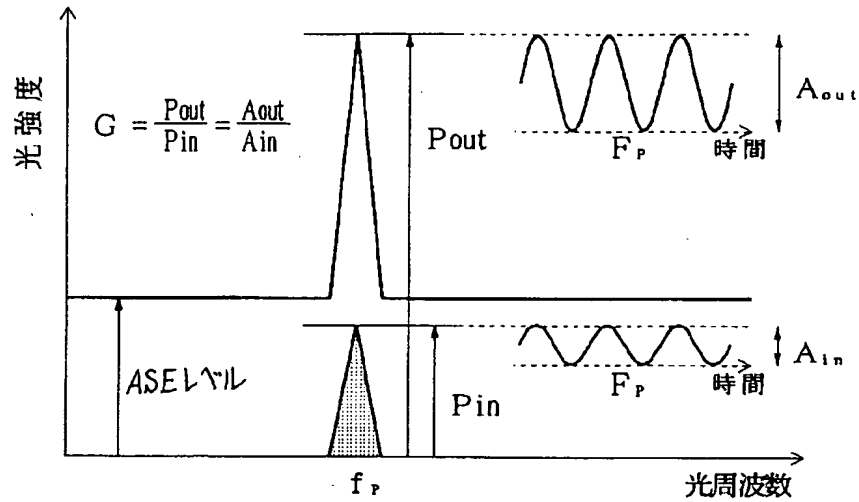
【図 2】

請求項 2 に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成 (利得制御回路)



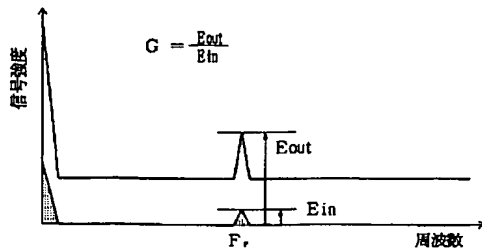
【図3】

光増幅器70における強度変調光の増幅例



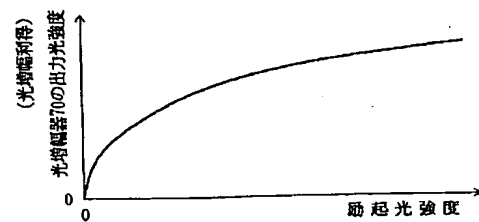
【図4】

受光素子22, 15の出力信号の周波数-信号強度特性



【図8】

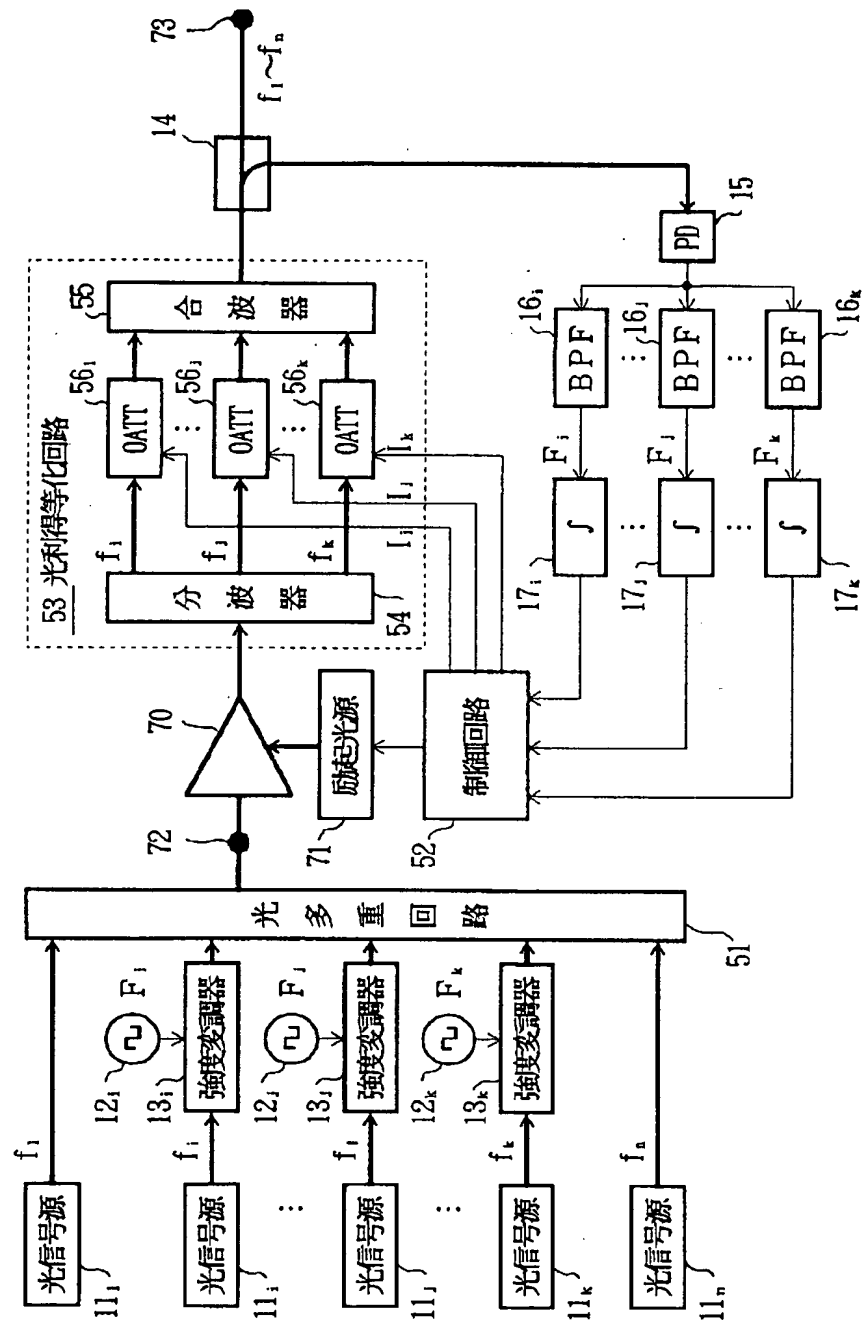
励起光強度と光増幅器70の出力光強度の関係





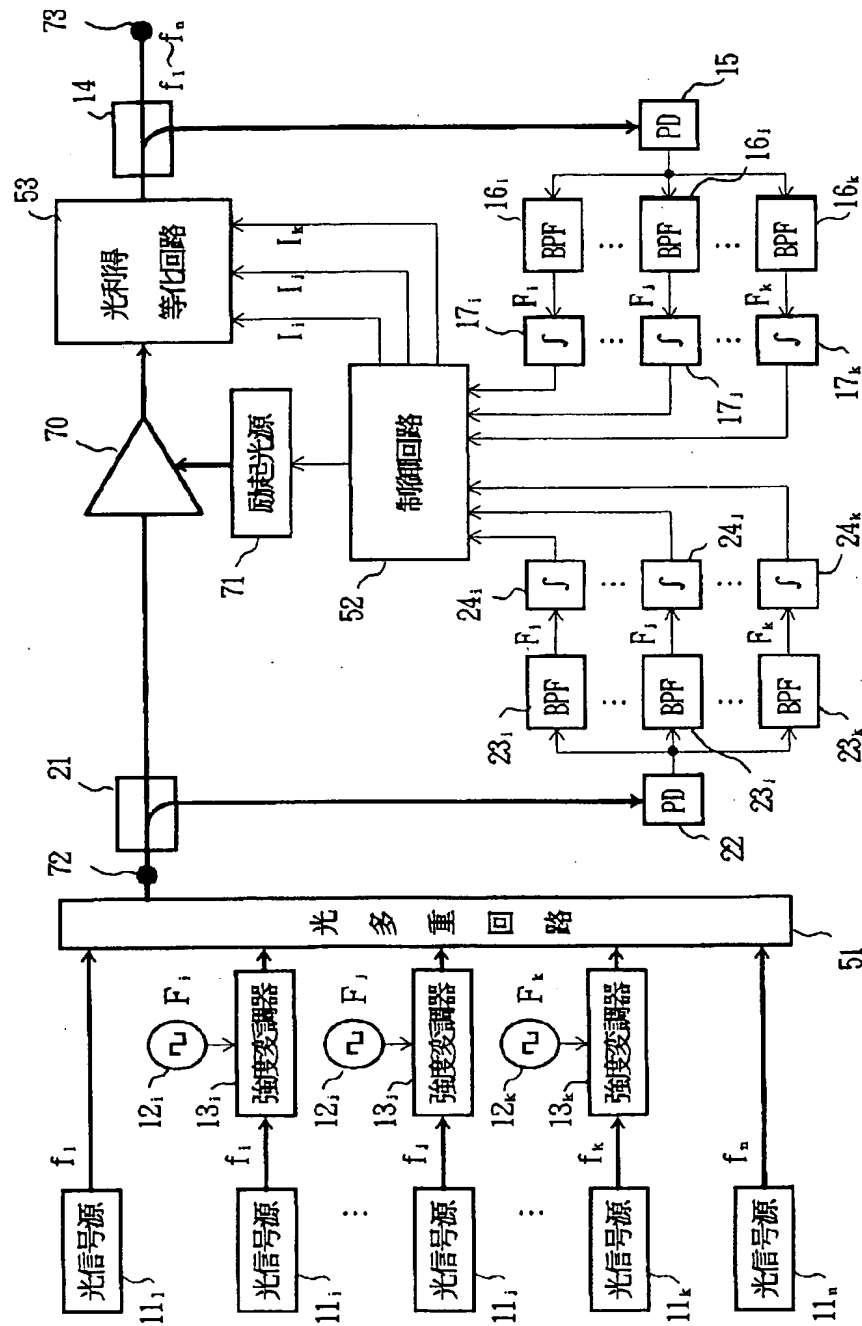
【図 5】

請求項 3 に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成 (出力レベル制御回路)



【図6】

請求項4に記載の光増幅器の出力制御回路の実施例構成（利得制御回路）



【図 7】

従来の光増幅器の出力レベル制御回路の構成例

